

УДК 621.825.5/.7

В. О. ПРОЦЕНКО, О. Ю. КЛЕМЕНТЬЄВА

**ОСОБЛИВОСТІ КОМПОНОВКИ МУФТ З ТОРЦЕВОЮ УСТАНОВКОЮ КАНАТІВ  
ТАНГЕНЦІАЛЬНОГО РОЗТАШУВАННЯ**

В статті представлені дослідження впливу компоновочних параметрів муфт з торцевою установкою канатів тангенціального розташування на умови їх геометричного існування. В результаті виконання досліджень розкрито цей вплив та отримано математичні вирази для використання при проектувальному розрахунку муфт під час перевірки основних умов їх геометричного існування. Розглянуто умови відсутності інтерференції втулок зовнішньої та внутрішньої напівмуфт, а також умови відсутності інтерференції канатів та суміжних втулок внутрішньої напівмуфти. Отримані залежності апробовані при проектуванні муфти, а результати розрахунку за ними перевірені порівнянням із результатами побудови і показали співпадіння. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні муфт з торцевою установкою прямих канатів тангенціального розташування.

**Ключові слова:** муфта, канат, навантаження, компоновка, зазор.

В статье представлены исследования влияния компоновочных параметров муфт с торцевой установкой канатов тангенциального расположения на условия их геометрического существования. В результате выполнения исследований раскрыто это влияние и получены математические выражения для использования при проекторочном расчета муфт при проверке основных условий их геометрического существования. Рассмотрены отсутствия интерференции втулок внешней и внутренней полумуфт, а также при отсутствии интерференции канатов и смежных втулок внутренней полумуфты. Полученные зависимости апробированы при проектировании муфты, а результаты расчета по ним проверены сравнением с результатами построения и показали совпадение. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании муфт с торцевой установкой прямых канатов тангенциального расположения.

**Ключевые слова:** муфта, канат, нагрузки, компоновка, зазор, момент.

Most of the parts and units of machines is a complex design, convenient design which is possible only after a detailed study of the processes occurring in them during the work, as well as development on the basis of these new methods of knowledge of their design. Moreover, for many of the rational design of assembly units is the result of a series of calculations performed by the method of successive approximations. An example is the layout calculations for refinement such as gears in preassigned dimensions. They are no exception and flexible couplings. Among the couplings among the most promising designs are couplings with rope elastic elements. In previous work, the authors proposed the design of couplings with rope end units elastic elements chordal and tangential arrangement. Today justified some parameters such couplings, which at the same time is not enough to create a methodology for their design. The paper presents the study of the effect of layout parameters coupling with the end of the tangential location of the installation of ropes on the conditions of geometric existence. Arrangement considered limiting geometric nature that must be considered when designing joints. These conditions take into account the possibility of tightening fasteners, bushings opportunity neighborhood inner coupling halves, the possibility of relative rotation of the coupling halves, the lack of interference of the outer and inner sleeves of the coupling halves, the absence of interference of adjacent ropes and sleeves inner halfcoupling. As a result of research obtained mathematical expressions to be used in the calculation of engineering couplings checking the basic conditions of their geometric existence. These have been tested according to the design of the coupling, and the calculation results are checked by comparing them with the results of construction and found a match. The results can be used in the design of the coupling with the end of direct installation of ropes tangential location.

**Keywords:** coupling, rope, load, layout, gap, torque.

**Вступ.** Більшість деталей та вузлів машин є складними конструкціями, вдале проектування яких можливе тільки після детального вивчення процесів, що виникають в них під час роботи та розроблення на основі нових знань методики їх проектування. При цьому для багатьох із складальних одиниць раціональне проектування є результатом ряду розрахунків, що виконуються методами послідовних наближень, прикладом є компоновочні розрахунки при "вписуванні" наприклад зубчастих передач у наперед задані габарити і т.п. [1]. Не виключенням є і пружні муфти [2–4], зокрема з канатними елементами для яких методики проектувальних та перевірочних розрахунків розроблені недостатньо, тому подальший розвиток їх методів розрахунку є важливим завданням.

**Аналіз виконаних досліджень та постановка задачі.** В попередніх роботах авторів [5] запропоновано нову конструкцію муфти з торцевою установкою канатів тангенціального розташування удосконаленої конструкції. За рахунок виконання теоретичних досліджень встановлено основні геометричні обмеження та сформульовано п'ять умов геометричного існування муфт запропонованої конструкції – можливості затягування кріпильних елементів, можливості "сусідства" втулок внутрішньої напівмуфти, можливості відносного обертання напівмуфт, відсутності інтерференції втулок зовнішньої та внутрішньої напівмуфт, відсутності інтер-

ференції канатів та суміжних втулок внутрішньої напівмуфти. Однак формули для перевірки двох найбільш складних останніх умов на етапі проектування не отримані, що ускладнює процес проектування таких муфт. Тому метою даної роботи є теоретичне дослідження геометричних особливостей компоновки муфт з торцевою установкою прямих канатів тангенціального розташування та отримання залежностей, що спростять роботу проєктанта під час розроблення таких муфт.

**Виклад основного матеріалу.** Схема муфти з торцевою установкою канатів тангенціального розташування показана на рис. 1. Муфта містить дві напівмуфти – зовнішню та внутрішню, у яких на різних діаметрах  $D_{зв}$  та  $D_{вн}$  закріплені втулки 1 та 2, у яких тим чи іншим способом закріплені канати 3 за рахунок натягу яких передається обертання з ведучої муфти до веденої. Основними вихідними даними під час перевірки зазначених умов існування муфти, крім діаметрів розташування втулок, є діаметри втулок та канатів  $d_{вт}$  та  $d_{к}$ , а також кут монтажного зміщення напівмуфт  $\xi$ , який може регулюватися під час монтажу муфти у потрібних межах, тому за рахунок вибору цього кута і планується виконувати забезпечення геометричного існування муфти за рахунок перевірки виконання згаданих умов відсутності інтерференції втулок зовнішньої та внутрішньої напівмуфт і відсутності інтерференції канатів та суміжних втулок внутрішньої напівмуфти. Виконання

© В. О. Проценко, О. Ю. Клементьєва, 2016

необхідних теоретичних досліджень потребує виконання нескладних побудов, зображених на рис. 1. Так, перша зі згаданих умов – умова відсутності інтерференції втулки зовнішньої напівмуфти та відповідної втулки внутрішньої напівмуфти виконується за наявності зазору  $\kappa_3$  між ними. Умова перевіряється з метою забезпечення безударної роботи муфти і записується виразом (1). Таким чином, забезпечення вказаної умови зводиться фактично до обчислення величини відстані  $h_1$  між осями  $A$  та  $C$  суміжних втулок зовнішньої та внутрішньої напівмуфт.

$$\begin{cases} \kappa_3 = h_1 - d_{вт}; \\ \kappa_3 \geq [\Delta_r], \end{cases} \quad (1)$$

де  $[\Delta_r]$  – очікувана радіальна неспіввісність при якій працюватиме муфта.

Друга зі згаданих умов – умова відсутності інтерференції канатів та суміжних втулок внутрішньої напівмуфти виконується за наявності зазору  $\kappa_4$  між ними. Умова перевіряється з метою забезпечення безударної роботи муфти і записується виразом (2). Таким чином, забезпечення вказаної умови зводиться до обчислення величини відстані  $h_2$  між віссю  $C$  втулки внутрішньої напівмуфти та віссю  $AB$  каната.

$$\begin{cases} \kappa_4 = h_2 - 0,5(d_{вт} + d_{\kappa}); \\ \kappa_4 \geq (2...4) \text{ мм.} \end{cases} \quad (2)$$

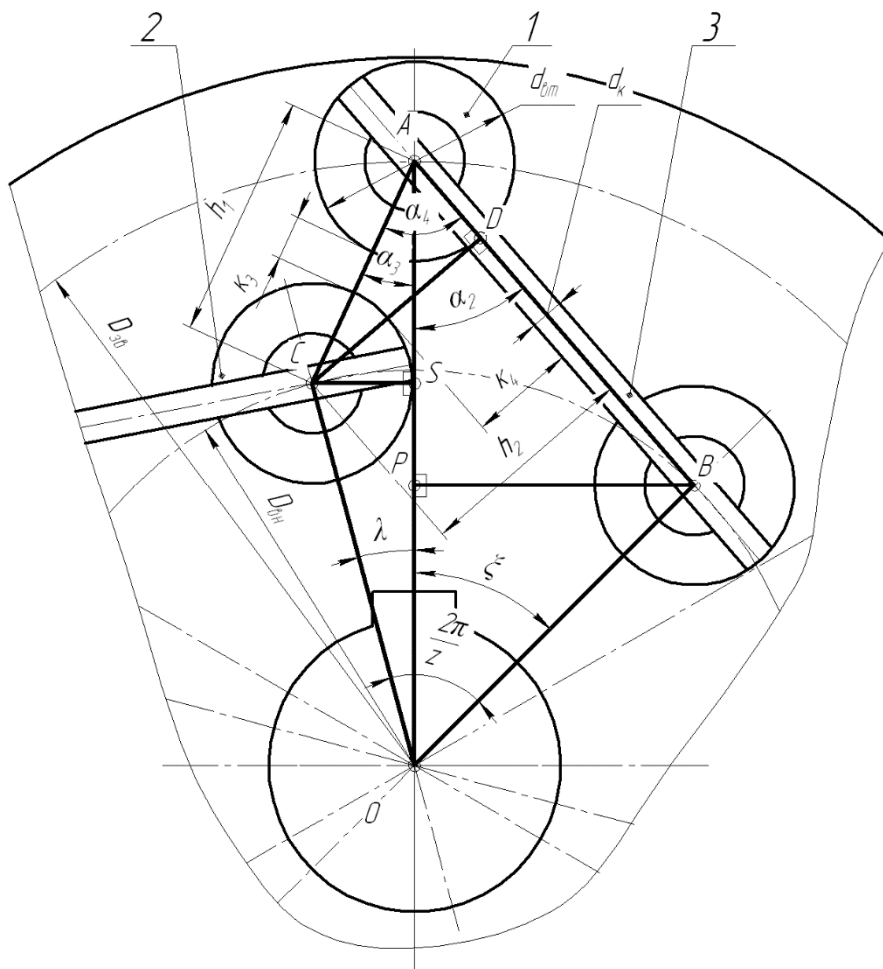


Рис. 1 – Розрахункова схема муфти з торцевою установкою прямих канатів тангенціального розташування

Для досягнення поставленої мети розглянемо на початку прямокутний трикутник  $OPB$ , для якого можна записати:

$$PB = OB \times \sin \xi = \frac{D_{BH}}{2} \sin \xi; \quad (3)$$

$$OP = OB \times \cos \xi = \frac{D_{BH}}{2} \cos \xi. \quad (4)$$

З прямокутного трикутника  $APB$ :

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{PB}{AP} = \frac{PB}{OA - OP} = \frac{0,5D_{BH} \sin \xi}{0,5D_{3B} - 0,5D_{BH} \cos \xi} = \frac{D_{BH} \sin \xi}{D_{3B} - D_{BH} \cos \xi} = A; \quad (5)$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{z} - \xi. \quad (6)$$

З прямокутного трикутника  $OSC$  матимемо:

$$CS = OC \times \sin \lambda = \frac{D_{BH}}{2} \sin \lambda; \quad (7)$$

$$CS = OC \times \cos \lambda = \frac{D_{BH}}{2} \cos \lambda. \quad (8)$$

З прямокутного трикутника  $ASC$ :

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = \frac{CS}{AS} = \frac{CS}{OA - OS} = \frac{0,5D_{BH} \sin \lambda}{0,5D_{3B} - 0,5D_{BH} \cos \lambda} = \frac{D_{BH} \sin \lambda}{D_{3B} - D_{BH} \cos \lambda} = B; \quad (9)$$

$$\cos \alpha_3 = \frac{AS}{CA} = \frac{OA - OS}{CA} = \frac{0,5D_{3B} - 0,5D_{BH} \cos \lambda}{CA}. \quad (10)$$

Вводимо заміну (11)

$$\cos \alpha_3 = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_3}} = \frac{1}{\sqrt{1 + B^2}}, \quad (11)$$

тоді

$$h_1 = CA = \frac{AS}{\cos \alpha_3} = \frac{0,5D_{3B} - 0,5D_{BH} \cos \lambda}{\cos \alpha_3} = \frac{0,5D_{3B} - 0,5D_{BH} \cos \lambda}{\left( \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_3}} \right)}, \quad (12)$$

$$h_1 = CA = (0,5D_{3B} - 0,5D_{BH} \cos \lambda) \times \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_3} = 0,5(D_{3B} - D_{BH} \cos \lambda) \times \sqrt{1 + B^2}. \quad (13)$$

З прямокутного трикутника  $CDA$  отримаємо:

$$\alpha_4 = \alpha_2 + \alpha_3. \quad (14)$$

Вводимо заміни (15) та (16):

$$\operatorname{tg} \alpha_4 = \frac{\operatorname{tg} \alpha_2 + \operatorname{tg} \alpha_3}{1 - \operatorname{tg} \alpha_2 \times \operatorname{tg} \alpha_3} = \frac{A + B}{1 - A \times B} = C; \quad (15)$$

$$\sin \alpha_4 = \frac{\operatorname{tg} \alpha_4}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_4}} = \frac{C}{\sqrt{1 + C^2}}. \quad (16)$$

Тоді:

$$h_2 = CD = CA \sin \alpha_4 = CA \frac{\operatorname{tg} \alpha_4}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_4}} = h_1 \frac{C}{\sqrt{1 + C^2}}, \quad (17)$$

або

$$h_2 = \frac{0,5(D_{3B} - D_{BH} \cos \lambda) \times \sqrt{1 + B^2} \times C}{\sqrt{1 + C^2}}. \quad (18)$$

Отримані формули (5), (9), (13), (15), (17), (18), можна використовувати при проектному розрахунку та компоновці муфт.

З метою ілюстрації перспектив використання результатів наведених теоретичних досліджень було виконано розрахунок муфти з торцевими канатами тангенціального розташування для сполучення дизеля МТУ12В4000 з електрогенератором на заміну базової муфти Vulkan Vulastik. Вихідні дані до розрахунку були наступні:

1. Діаметр розташування пальців та втулок зовнішньої напівмуфти  $D_{3B} = 641,4$  мм;
2. Діаметр розташування пальців та втулок внутрішньої напівмуфти  $D_{BH} = 285$  мм;
3. Номінальний момент дизеля, який передає муфта  $T = 8917$  Н·м;
4. Кількість канатів  $z = 12$ .

Було виконане чисельне моделювання для проектованої муфти при різних значеннях кута монтажного зміщення напівмуфт  $\xi$  які дали можливість побудувати графік залежності зазорів  $\kappa_3$  та  $\kappa_4$  а також сили натягу каната  $F_n$  від кута  $\xi$  (рис. 2) за умови застосування канатів 6×19 ГОСТ 2688 діаметром  $d_k = 7,6$  мм при діаметрі втулок  $d_{вт} = 32$  мм. Аналіз цього графіка показує, що мінімальний натяг канатів  $F_n$  буде забезпечено при величині кута монтажного зміщення напівмуфт близько  $\xi = 63,62^\circ$ , однак при такому значенні кута  $\xi$  не буде забезпечено зазор  $\kappa_4$  оскільки розрахункова його величина становитиме близько  $-2,6$  мм, тобто матиме місце інтерференція втулок і канатів. Позитивне значення зазора  $\kappa_4$  буде забезпечено при кутах  $\xi$  понад  $48^\circ$ . Однак з цього ж графіка очевидно, що зменшувати кут  $\xi$  менше  $25^\circ$  є недоцільно, оскільки при цьому різко зростає натяг канатів  $F_n$ . Таким чином рис. 2 являє собою фактично блокуючий контур для розробленої муфти, який дозволяє вибирати її розміри при проектуванні чи виконувати оцінку отриманих результатів. За результатами розрахунків сконструйована муфта (рис. 3) у якій закладене значення кута  $\xi = 50^\circ$ , величина зазора  $\kappa_4$  в цьому випадку знаходиться близько 16 мм, зазор  $\kappa_3$  забезпечено у всьому діапазоні кутів  $\xi$ .

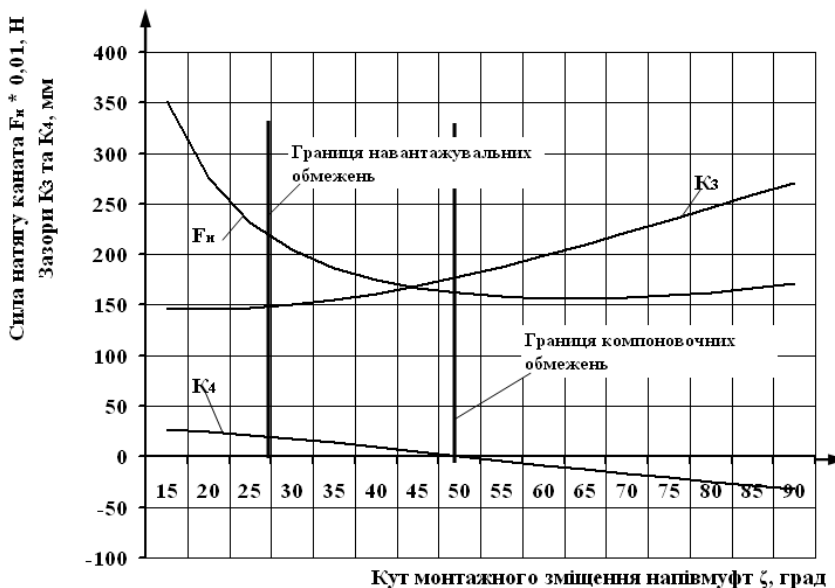


Рис. 2 – Загальний вид залежності зазорів  $\kappa_3$  та  $\kappa_4$  а також сили натягу каната  $F_n$  від кута монтажного зміщення напівмуфт  $\xi$

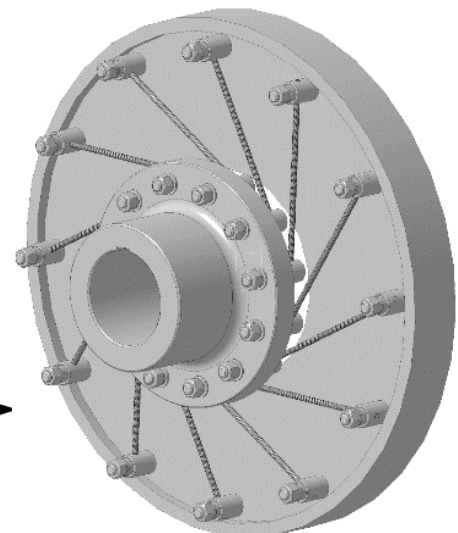


Рис. 3 – Загальний вид розробленої муфти

**Висновки.** В результаті виконаних досліджень розкрито вплив компоновочних параметрів муфт з торцевою установкою канатів тангенціального розташування на умови їх геометричного існування. Вперше отримано математичні вирази для використання при проектувальному розрахунку муфт під час перевірки основних умов геометричного існування – умови відсутності інтерференції втулок зовнішньої та внутрішньої напівмуфт, а також умови відсутності інтерференції канатів та суміжних втулок внутрішньої напівмуфти. Отримані залежності апробовані при проектуванні муфти, а результати розрахунку за ними перевірені порівнянням із результатами побудови і показали співпадіння. Отримані результати можуть стати основою для розроблення методики проектування муфт з торцевою установкою прямих канатів тангенціального розташування.

Напрямки подальших досліджень.

Цікавими та актуальними є наступні напрямки наукового пошуку:

1. Дослідження впливу сили затягування пружини запобіжної муфти на зусилля висмикування каната. Для цього розроблене спеціальне пристосування для розривної машини УМ-5.
2. Дослідження якісних показників спрацьовування запобіжної муфти – коефіцієнта точності спрацьовування і т.ін.
3. Дослідження впливу неспіввідносності на якісні показники муфт.
4. Дослідження міцності затискних елементів муфт.
5. Дослідження ресурсу слабких ланок муфт – канатів.

6. Дослідження навантажень на вали від канатних муфт.

#### Список літератури

1. Деталі машин. Розрахунок та конструювання: підручник / Г. В. Архангельський, М. С. Воробійов, О. І. Дубинець та ін. – К. : Талком, 2014. – 684 с.
2. Муфты. Конструкции и расчет / В. С. Поляков, И. Д. Барбаш. – Л. : Машиностроение, 1973. – 336 с.
3. Справочник по муфтам / О. А. Ряховский, С. С. Иванов. – Л. : Политехника, 1991. – 384 с.
4. Малащенко В. О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків / В. О. Малащенко. – Львів : Видавництво національного університету "Львівська політехніка", 2009. – 208 с.
5. Проценко В. О. Геометричні умови існування муфти з торцевими канатами тангенціального розташування / В. О. Проценко, М. В. Бабій, О. Ю. Клементьєва // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – Херсон : Видавництво ХДМА. – 2015. – № 1 (12) – С. 240–246.

#### Bibliography (transliterated)

1. Detali mashin. Rozrakhunok ta konstruyuvannya: pidruchnik / G. V. Arkhangel'skiy, M. S. Vorobyjov, O. I. Dubinec' ta in. – Kyiv : Talkom, 2014. – 684 p.
2. Muftih. Konstrukcii i raschet / V. S. Polyakov, I. D. Barbash. – Ljviv : Mashinostroenie, 1973. – 336 p.
3. Spravochnik po muftam / O. A. Ryakhovskiy, S. S. Ivanov. – Ljviv: Politehnika, 1991. – 384 p.
4. Malathenko V. O. Mufti privodiv. Konstrukcii ta priklyadi rozrakhunkiv / V. O. Malathenko. – Ljviv : Vidavnicтво nacional'nogo universitetu "Ljvivs'jka politehnika", 2009. – 208 p.
5. Prochenko V. O. Geometrichni umovi isnuvannya mufti z torcevimy kanatami tangencial'nogo roztashuvannya / V. O. Protsenko, M. V. Babij, O. Yu. Klementjeva // Naukoviy visnik Khersons'jkoj derzhavnoi morsk'joi akademii. – Kherson : Vidavnicтво KhDMA. – 2015. – No 1 (12) – P. 240–246.

Надійшла (received) 21.03.2016

#### Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Особенности компоновки муфт с торцевой установкой канатов тангенциального расположения / В. О. Проценко, О. Ю. Клементьєва // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми механічного приводу. – Х. : НТУ "ХПІ", 2016. – № 23 (1195). – С. 134–137. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0791.**

**Особенности компоновки муфт с торцевой установкой канатов тангенциального расположения / В. А. Проценко, О. Ю. Клементьєва // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми механічного приводу. – Х. : НТУ "ХПІ", 2016. – № 23 (1195). – С. 134–137. – Библиогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0791.**

**Features layout with face couplings installing ropes tangential location / V. O. Protsenko, O. Yu. Klementyeva // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problem of mechanical drive. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2016. – No. 23 (1195). – P. 134–137. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2079-0791.**

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Проценко Владислав Александрович** – кандидат технічних наук, доцент, Херсонська державна морська академія, доцент кафедри суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки, м. Херсон; тел.: (050) 494-74-72; e-mail: eseu@ukr.net

**Проценко Владислав Александрович** – кандидат технических наук, доцент, Херсонская государственная морская академия, доцент кафедры судовых энергетических установок и общинженерной подготовки, г. Херсон; тел.: (050) 494-74-72; e-mail: eseu@ukr.net.

**Protsenko Vladislav Alexandrovich** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Kherson State Maritime Academy, Associate Professor at the Department of marine power plants and general engineering preparation, Kherson; tel.: (050) 494-74-72; e-mail: eseu@ukr.net.

**Клементьєва Оксана Юрїївна** – Херсонська державна морська академія, аспірантка кафедри суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки, м. Херсон; тел.: (050) 521-32-42; e-mail: vesnyk\_ksma@ukr.net.

**Клементьєва Оксана Юрьевна** – Херсонская государственная морская академия, аспирантка кафедры судовых энергетических установок и общинженерной подготовки, г. Херсон; тел.: (050) 521-32-42; e-mail: vesnyk\_ksma@ukr.net.

**Klementyeva Oksana Yuryevna** – Kherson State Maritime Academy, postgraduate at the Department of marine power plants and general engineering preparation, Kherson; tel.: (050) 521-32-42; e-mail: vesnyk\_ksma@ukr.net.